

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2002-280642  
(P2002-280642A)

(43)公開日 平成14年9月27日(2002.9.27)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード(参考)
H 0 1 L 43/08		H 0 1 L 43/08	Z 2 G 0 1 7
G 0 1 R 33/09		G 1 1 B 5/39	5 D 0 3 4
G 1 1 B 5/39		G 1 1 C 11/14	A 5 E 0 4 9
G 1 1 C 11/14		11/15	5 F 0 8 3
11/15		H 0 1 F 10/30	

審査請求 未請求 請求項の数15 O L (全 13 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2001-82107(P2001-82107)

(22)出願日 平成13年3月22日(2001.3.22)

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(72)発明者 岸 達也

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 斉藤 好昭

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

(74)代理人 100083161

弁理士 外川 英明

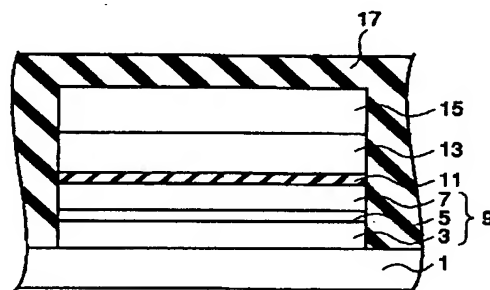
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 磁気抵抗効果素子、磁気記憶装置、携帯端末装置、磁気抵抗効果ヘッド、磁気再生装置

(57)【要約】

【課題】 低保磁力が小さく、低スイッチング磁場の磁気抵抗効果素子等の提供。

【解決手段】 外部磁場によって磁化方向が変化する第1の強磁性層3、第1の強磁性層3に積層された非磁性結合層5、非磁性結合層5を介して第1の強磁性層3と積層され、外部磁場によって磁化方向が変化する第2の強磁性層7、第2の強磁性層7と積層された第1の非磁性スペーサ層11、及び第1の非磁性スペーサ層11を介して第2の強磁性層7と積層され、外部磁場下において所定方向の磁化を実質的に保持する第3の強磁性層13を備え、第1の強磁性層3と第2の強磁性層5とが大きさJで磁気結合し、大きさJが $-3000[\text{Oe}] \leq J < 0[\text{Oe}]$ 、 $0[\text{Oe}] < J$ を満たす。また、第1の強磁性層3または第2の強磁性層7と非磁性結合層5との界面の表面粗さを2オングストローム以上とする。



1…下部電極

3…第1の強磁性層

5…非磁性結合層

7…第2の強磁性層

9…磁化自由層

11…第1の非磁性誘電体スペーサ層

13…第3の強磁性層

15…上部電極

17…層間絶縁膜

1

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 外部磁場によって磁化方向が変化する第一の強磁性層と、

前記第一の強磁性層に積層された第一の非磁性結合層と、

前記第一の非磁性結合層を介して前記第一の強磁性層と積層され、前記外部磁場によって磁化方向が変化する第二の強磁性層と、

前記第二の強磁性層と積層された第一の非磁性スペーサ層と、

前記第一の非磁性スペーサ層を介して前記第二の強磁性層と積層され、前記外部磁場下において所定方向の磁化を実質的に保持する第三の強磁性層とを備え、

前記第一の強磁性層と前記第二の強磁性層とが反強磁性磁気結合してなり、前記磁気結合の大きさ  $J$  が  $-3000 [\text{Oe}] \leq J < 0$  を満たすことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項 2】 外部磁場によって磁化方向が変化する第一の強磁性層と、

前記第一の強磁性層に積層された第一の非磁性結合層と、

前記第一の非磁性結合層を介して前記第一の強磁性層と積層され、前記第一の強磁性層と強磁性磁気結合してなり、前記外部磁場によって磁化方向が変化する第二の強磁性層と、

前記第二の強磁性層と積層された第一の非磁性スペーサ層と、

前記第一の非磁性スペーサ層を介して前記第二の強磁性層と積層され、前記外部磁場下において所定方向の磁化を実質的に保持する第三の強磁性層とを備えることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項 3】 前記第一及び第二の強磁性層の磁気結合の大きさ  $J$  が、 $0 [\text{Oe}] < J \leq 1000 [\text{Oe}]$  以上であることを特徴とする請求項 2 に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 4】 第一磁化を備える中央領域と、前記第一磁化と異なる方向の第二磁化を備える端部領域とを備え、外部磁場によって前記第一及び第二磁化の方向が変化する第一の強磁性層と、

前記第一の強磁性層に積層された第一の非磁性結合層と、

前記第一の非磁性結合層を介して前記第一の強磁性層と積層され、前記第一磁化と平行な第三磁化を備える中央領域と、前記第三磁化と異なる方向の第四磁化を備える端部領域を備え、前記外部磁場によって第三及び第四磁化の方向が変化する第二の強磁性層と、

前記第二の強磁性層と積層された第一の非磁性スペーサ層と、

前記第一の非磁性スペーサ層を介して前記第二の強磁性層と積層され、前記外部磁場下において所定方向の磁化

2

を実質的に保持する第三の強磁性層とを備えることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項 5】 前記第一及び第二の強磁性層が磁気結合しており、前記磁気結合の大きさ  $J$  は  $-3000 [\text{Oe}] \leq J \leq 1000 [\text{Oe}]$  を満たすことを特徴とする請求項 4 に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 6】 外部磁場によって磁化方向が変化する第一の強磁性層と、

前記第一の強磁性層に積層された第一の非磁性結合層と、

前記第一の非磁性結合層を介して前記第一の強磁性層と積層され、前記外部磁場によって磁化方向が変化する第二の強磁性層と、

前記第二の強磁性層と積層された第一の非磁性スペーサ層と、

前記第一の非磁性スペーサ層を介して前記第二の強磁性層と積層され、前記外部磁場下において所定方向の磁化を実質的に保持する第三の強磁性層とを備え、

前記第一の強磁性層または前記第二の強磁性層と前記非磁性結合層との界面の表面粗さが 2 オングストローム以上であることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項 7】 前記第一の強磁性層の前記第一の非磁性結合層と接する面と反対の面に形成された第二の非磁性スペーサ層と、

前記第二の非磁性スペーサ層を介して前記第一の強磁性層と積層され、前記外部磁場下において所定方向の磁化を実質的に保持する第四の強磁性層とを備えることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 8】 前記第一及び第二の非磁性スペーサ層が誘電体層であることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 9】 前記第一乃至第四の強磁性層のいずれかの平均厚さが 0.1 ナノメートル以上 100 ナノメートル以下であることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 10】 前記第一及び第二の強磁性層のいずれかに第二の非磁性結合層を介して積層された第五の強磁性層を備えることを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 11】 前記第一または第二の非磁性結合層の平均厚さが 0.1 ナノメートル以上 100 ナノメートル以下であることを特徴とする請求項 1 乃至 10 のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 12】 請求項 1 乃至 11 のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子を複数備えることを特徴とする磁気記憶装置。

【請求項 13】 請求項 12 に記載の磁気記憶装置を搭載したことを特徴とする携帯端末装置。

【請求項 14】 請求項 1 乃至請求項 11 のいずれか一

## 3

項に記載の磁気抵抗効果素子を備えることを特徴とする磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項15】 請求項14に記載の磁気ヘッドを搭載したことを特徴とする磁気再生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、外部磁場下において磁化が変化する第一及び第二の強磁性層と、これらの間に挿入された非磁性結合層を備える磁気抵抗効果素子と、この磁気抵抗効果素子を備える磁気記憶装置、携帯10 端末装置、磁気抵抗効果ヘッド、及び磁気再生装置に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、巨大磁気抵抗効果を示す強磁性トンネル接合素子を用いた磁気記憶装置に注目が集まっている。

【0003】強磁性トンネル接合素子は、主に第1の強磁性層／絶縁層／第2の強磁性層の3層膜で構成され、絶縁層を介して第1及び第2の強磁性層間にトンネル接15 合が形成され、第1及び第2の強磁性層間には両者への電圧印加に伴うトンネル電流が流れる。この場合、接合抵抗値は第1及び第2の強磁性層の磁化の相対角の余弦に比例して変化する。従って、抵抗値は第1及び第2の強磁性層の磁化が平行のときに極小値、反平行のときに極大値をとる。このような抵抗変化はトンネル磁気抵抗(TMR)効果と呼ばれている。

【0004】例えば、最近の文献(Appl. Phys. Lett. 77, 283 (2000))では、TMR効果による抵抗値変化は室温において49.7%にもなることが報告されている。

【0005】記憶装置に用いる強磁性トンネル接合素子20 では、第1または第2の強磁性層のうち、外部磁界が加わっても所定方向の磁化を略保持する強磁性層を基準層とし、外部磁界が加わると磁化方向が回転する他の強磁性層(磁化自由層)を記憶層とすることができる。そして、この基準層と記憶層の磁化の方向が平行または反平行の状態を夫々2進情報の“0”または“1”に対応づけることで、強磁性トンネル接合素子を、磁気情報の記憶セルとして用いることが可能となる。

【0006】磁気情報の書き込みは、この記憶セルの近傍に設けられた書き込み配線に電流を流し、発生する電流磁場によって記憶層の磁化を反転させることで達成で30 きる。

【0007】また、書き込まれた磁気情報の読み出しは、強磁性トンネル接合素子にトンネル電流(センス電流)を流し、TMR効果による抵抗変化を検出することで行われる。このようなメモリセルを多数配置することで集積化された磁気記憶装置が構成される。

【0008】集積化された磁気記憶装置は、多数並置された任意のセルを選択できるように、例えばDRAM等と同様に、各記憶セルに強磁性トンネル接合素子と直列40

## 4

接続するスイッチングトランジスタを配置し、この記憶セルに接続する行方向に伸びるビット線、列方向に伸びるワード線等を配線し、さらにこれらの配線の電流／印加電圧等を制御する周辺回路を記憶セル領域の行列方向端に組み込んで構成される。

【0009】また、スイッチングトランジスタに替えてダイオードと強磁性トンネル接合素子を用いて記憶セルとする例も提案されている(米国特許第5,640,343号、第5,650,958号)。

【0010】さて、磁気記憶装置の高集積化を考えると、強磁性トンネル接合素子の面積を小さくする必要がある。従って、素子を構成する強磁性層の平面積も必然的に小さくなるが、一般に、強磁性体層の面積を小さくするとその保磁力は大きくなる。この保磁力の大きさは、記憶層の磁化を反転するために必要なスイッチング磁場の大きさに比例し、従って、平面積の減少はスイッチング磁場の増大を意味する。

【0011】よって、情報を書き込む際にはより大きな電流を書き込み配線に流さなければならなくなり、消費電力の増加という好ましくない結果をもたらす。従って、強磁性記憶層の保磁力を低減することは高集積化磁気記憶装置の実用化において重要な課題である。

【0012】この課題を解決するために、強磁性記憶層として、二つの強磁性層と、これらの間に介在する非磁性層を備える多層膜であって、二つの強磁性層が反強磁性結合している多層膜を用いる構造が提案されている(特開平9-251621、米国特許第5,953,248)。

【0013】この多層膜の二つの強磁性層は、その磁気モーメントまたは厚さが異なっており、反強磁性的結合により磁化が逆方向をむいている。このため、互いの磁化が実効的に相殺され、記憶層全体としては磁化容易軸方向に小さな磁化を持った強磁性体と同等と考えることができる。

【0014】この記憶層のもつ小さな磁化の向きと逆向きの外部磁場が印加されると、各強磁性層の磁化は、反強磁性結合を保ったまま反転する。この際、磁力線が閉じていることから反磁場の影響が小さく、記録層のスイッチング磁場は各強磁性層の保磁力により決まるため、小さなスイッチング磁場での磁化反転が可能になる。

【0015】上述の通り、記録層のスイッチング磁場の低減は、磁気記憶装置において必要不可欠な要素であり、反強磁性結合を含む多層膜を用いることが提案されている。

【0016】しかしながら、このような多層膜を高集積化された磁気記憶装置に用いるために微小なサイズに加工した場合、“エッジドメイン”の効果が大きくなることから磁化反転における磁気構造パターンの変化が複雑になり、結果的に保磁力およびスイッチング磁場が増大する。ここで、“エッジドメイン”とは、小さな磁気メ

5

モリセル内におかれる微小な強磁性層単層膜が例えば、短軸の幅が数ミクロンからサブミクロン程度になると反磁場の影響によって磁性体の中央部分とは異なる端部に生じる磁気構造のことである（例えばJ. App. Phys. 81, 5471 (1997) 参照）。

【0017】このような複雑な磁氣的構造の変化が生じることをできるだけ防ぐ方法として、強磁性体単層膜において、エッジドメインを固定することが考えられている（米国特許第5,748,524、特開2000-100153）。

【0018】これにより、磁化反転の際の挙動が制御できるが、スイッチング磁場の低減は困難となる。また、エッジドメインを固定するために、別の構造を付加する必要があり、高密度化には適さない。

【0019】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、簡略な構造による磁化自由層層の安定な磁氣的構造を実現し、スイッチング磁場の低い磁気抵抗効果素子等を提供することを目的とする。

【0020】

【課題を解決するための手段】本発明の第一及び第二は、外部磁場によって磁化方向が変化する第一の強磁性層と、第一の強磁性層に積層された非磁性結合層と、非磁性結合層を介して第一の強磁性層と積層され、外部磁場によって磁化方向が変化する第二の強磁性層と、第二の強磁性層と積層された第一の非磁性スペーサ層と、第一の非磁性スペーサ層を介して第二の強磁性層と積層され、外部磁場下において所定方向の磁化を実質的に保持する第三の強磁性層とを備え、第一及び第二の強磁性層とが大きさJで磁気結合し、反強磁性結合した磁気結合の大きさJが $-3000 [\text{Oe}] \leq J < 0$ 、または第一及び第二の強磁性層が強磁性結合した磁気抵抗効果素子を提供する。強磁性結合の大きさJは、 $0 [\text{Oe}] < J \leq 1000 [\text{Oe}]$ とすることができる。

【0021】また、本発明の第三は、第一磁化を備える中央領域と、第一磁化と異なる方向の第二磁化を備える端部領域とを備え、外部磁場によって第一及び第二磁化の方向が変化する第一の強磁性層と、第一の強磁性層に積層された非磁性結合層と、非磁性結合層を介して第一の強磁性層と積層され、第一磁化と平行な第三磁化を備える中央領域と、第三磁化と異なる方向の第四磁化を備える端部領域を備え、前記外部磁場によって第三及び第四磁化の方向が変化する第二の強磁性層と、第二の強磁性層と積層された第一の非磁性スペーサ層と、第一の非磁性スペーサ層を介して第二の強磁性層と積層され、外部磁場下において所定方向の磁化を実質的に保持する第三の強磁性層とを備えることを特徴とする磁気抵抗効果素子を提供する。

【0022】尚、第一及び第三の強磁性層の磁気構造は、第一及び第二の強磁性層を露出しMFM（磁気力顕

6

微鏡）、スピン分解SEM（走査電子顕微鏡）等により検出できる。

【0023】また、上記本発明の第三において、第一及び第二の強磁性層が磁気結合しており、磁気結合の大きさJは $-3000 [\text{Oe}] \leq J \leq 1000 [\text{Oe}]$ を満たすものとすることができる。

【0024】尚、磁気結合の大きさJは、層間結合磁界と同義であり、この値は次式（1）より算出できる。

【0025】

$$J = -H_s \times M_s \times t / 4 \quad (1)$$

ここで、 $H_s$ は磁化自由層の飽和磁場を、 $M_s$ は磁化自由層の飽和磁化を、 $t$ は磁化自由層の厚さを示す。また、飽和磁場 $H_s$ は磁気抵抗効果素子の磁化測定によりヒステリシスを得ることから求めることができる。これらの各因子の値は、第一及び第二の強磁性層と非磁性結合層の材料、組成を素子断面から測定することで得られる。

【0026】尚、磁気結合の大きさJや磁気構造の特定はこれらの方法に限定されず、他の方法によっても特定可能である。

【0027】本発明の第四は、外部磁場によって磁化方向が変化する第一の強磁性層と、第一の強磁性層に積層された非磁性結合層と、非磁性結合層を介して第一の強磁性層と積層され、外部磁場によって磁化方向が変化する第二の強磁性層と、第二の強磁性層と積層された第一の非磁性スペーサ層と、第一の非磁性スペーサ層を介して第二の強磁性層と積層され、外部磁場下において所定方向の磁化を実質的に保持する第三の強磁性層とを備え、第一の強磁性層または第二の強磁性層と非磁性結合層との界面の表面粗さが2オングストローム以上であることを特徴とする磁気抵抗効果素子を提供する。

【0028】上記本発明の第一乃至第四によれば、微小な強磁性体に特有の磁氣的構造を利用し、この磁氣的構造を制御することにより、新たに構造を付加することなくスイッチング磁場の低減を図ることが可能である。

【0029】このような磁気抵抗効果素子において、外部磁場によって磁化方向が変化する磁化自由層（第一及び第二の強磁性層）の磁化容易軸方向に反転磁場を印加すると、第一及び第二の強磁性層間の磁気結合エネルギーが下がった状態で磁化反転がおこるため、スイッチング磁場が小さくなる。

【0030】また、非磁性結合層を介した第一及び第二の強磁性層の磁化状態は、磁気軸に対して磁氣的に実質的に対称とすることができる。この磁気構造は、特開平11-273337等の開示された磁氣的構造の非対称性を特徴とする素子とは異なる。このような対称性の高い構造状態を保つ結果、磁化反転に伴う磁気抵抗の低下は小さく、磁気抵抗効果素子として好適である。

【0031】尚、上記本発明の第一乃至第四において、

第一の強磁性層が非磁性結合層と接する面と反対の面に形成された第二の非磁性スペーサ層と、第二の非磁性スペーサ層を介して第一の強磁性層と積層され、外部磁場下において所定方向の磁化を実質的に保持する第四の強磁性層とを備えてもよい。

【0032】また、上記本発明の第一乃至第四において、第一及び第二の非磁性スペーサ層を誘電体層として、これらの非磁性誘電体スペーサ層とこれに隣接する2つの強磁性層とで強磁性トンネル接合を構成してもよい。

【0033】また、上記本発明の第一乃至第四において、第一乃至第四の強磁性層のいずれかの平均厚さを0.1ナノメートル以上100ナノメートル以下とすることができる。

【0034】また、本発明の第一乃至第四において、第1の強磁性層、非磁性結合層、第2の強磁性層に加えて、これらに積層された別の非磁性結合層及び強磁性層をさらに含んでもよい。さらに、非磁性結合層及び強磁性層を交互に複数回積層して得られる積層体によって磁化自由層としてもよい。

【0035】また、上記本発明の第一乃至第四において、非磁性結合層の平均厚さを0.1ナノメートル以上100ナノメートル以下とすることができる。

【0036】ここで、平均厚さとは断面透過電子顕微鏡等により観察できる素子断面構造において、幅約10ナノメートルに亘って任意の点10箇所の厚さを測定して平均することで得ることができる。あるいは、スパッタ装置による成膜においてスパッタレートから見積もられる設計膜厚としてもよい。

【0037】尚、本発明において、第三及び第四の強磁性層は所定の外部磁場下において磁化の方向が実質的にかわらない磁化固着層である。ここで、所定の外部磁場とは、第一及び第二の強磁性層の磁化が変化する程度の外部磁場をさす。この第三及び第四の強磁性層の磁化固着は、例えば、第一及び第二の強磁性層よりも保磁力の強い強磁性材料を用いることができる。あるいは、第三または第四の強磁性層に隣接する反強磁性層からの交換結合を利用して、あるいは、隣接する硬質磁性層からの漏れ磁界を利用しても第三及び第四の強磁性層の磁化固着が可能である。

【0038】また、上記本発明の第一乃至第四の磁気抵抗効果素子を複数備えることで集積化した磁気記憶装置を実現可能である。このような磁気記憶装置によれば、スイッチング磁場の低い集積化メモリが実現でき、ランダムアクセス、不揮発性、及び低消費電力を満足することができる。尚、この磁気記憶装置を搭載する携帯電話等の携帯端末装置等も有用である。

【0039】また、上記本発明の第一乃至第四の磁気抵抗効果素子を磁気ヘッドに用いることも可能である。さらに、この磁気ヘッドを搭載した磁気再生装置も有用

である。

【0040】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を参照しつつ説明する。

(第1の実施の形態)図1は、本発明の第1の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子の断面図である。

【0041】この磁気抵抗効果素子は、図示せぬ基板の表面にやはり図示せぬ層間絶縁膜を介して形成された下部電極1を備える。基板材料は、この磁気抵抗効果素子をトランジスタやダイオード等の半導体素子と混載して磁気記憶装置に用いる場合は、単結晶シリコン等の半導体基板材料を用いることができる。また、磁気抵抗効果素子を磁気ヘッド等に用いる場合は、基板材料にアルチック基板等の非磁性絶縁性基板を用いることができる。また、下部電極1の下地は、この上層に形成される強磁性層等の結晶配向性を高めるために、周知の材料層を用いることができる。

【0042】下部電極1上には、図1に示すように、第1の強磁性層3、非磁性結合層5、及び第2の強磁性層7が順次積層された磁化自由層9が形成されている。この磁化自由層9は、磁気記憶装置の記憶セルでは記憶層、磁気ヘッドではフリー層等と称される。

【0043】この磁化自由層9上には、第1の非磁性誘電体スペーサ層11、第3の強磁性層13が順次積層され、磁化自由層9、第1の非磁性誘電体スペーサ層11、及び外部磁場下において磁化を実質的に保持する第3の強磁性層13からなる強磁性トンネル接合が形成されている。

【0044】つまり、第1の非磁性誘電体スペーサ層11を介して磁化自由層9と第3の強磁性層13間にトンネル電流が流れる。このトンネル電流の値は、磁化自由層9と第3の強磁性層の磁化の相対角の余弦に比例し、相対角が反平行の状態ではトンネル抵抗が最小値を、平行の状態ではトンネル抵抗が最大値をとる。

【0045】従って、この強磁性トンネル接合を含む磁気抵抗効果素子に一定電圧を印加した時のトンネル電流量の変動、もしくは、一定電流を付与した時の電位変動を読むことでこの磁気抵抗効果素子の抵抗変化を読み出すことができる。

【0046】また、第1の非磁性誘電体スペーサ層11にCu、Ag、Au等の導電性材料を用いれば、磁化自由層9、第1の非磁性誘電体スペーサ層11、第3の強磁性層13の積層膜を用いた磁気抵抗効果素子は、界面におけるスピン依存散乱を用いた巨大磁気抵抗効果(GMR)素子として用いることができる。

【0047】このGMR素子における抵抗変化は、磁化自由層9と第3の強磁性層13の磁化の相対角の余弦に比例する。相対角が反平行の状態では抵抗が最小値を、平行の状態では抵抗が最大値をとることから、このGMR素子の一定電圧印加時の電流量の変動、もしくは、一定電

9

流付与時の電位変動を読むことでこの磁気抵抗効果素子の抵抗変化を読み出すことができる。

【0048】尚、第3の強磁性層13上には、下部電極1に相対する上部電極15が形成されている。磁気記憶装置に用いる際には、上部電極15と下部電極1は互いに交差する様に、長手を有する。図1に示す構造では、下部電極1が紙面左右方向に長手を有し、上部電極15が紙面垂直方向に長手を備える例を示している。また、17は隣接する素子間及び上層の配線等との電気的な絶縁を図る層間絶縁膜を示している。

【0049】尚、第1乃至第3の強磁性層3、7には、例えばFe、Co、Niのいずれか一つ、及びこれら層を含む積層膜、これらを含む合金からなる層等の他、周知の強磁性材料を用いることができる。

【0050】また、非磁性結合層5には、Ru、Au、Ag、Cu等の非磁性金属材料を用いることができる。

【0051】また、第1の非磁性誘電体スペーサ層11は、例えばAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub>等の周知の非磁性誘電体材料を用いることができる。

【0052】また、磁気抵抗効果素子の平面形状は、長方形の他に平行四辺形、ひし形、あるいは五角形以上の多角形であってもよい。さらに、楕円端を備えてもよい。これらのうち、平行四辺形及びひし形は他の形状に比較して製造上簡便であり、かつスイッチング磁場の低減に有効である。

(実施例1) 次に、第1の実施形態において説明した磁化自由層について、第1及び第2の強磁性層間の結合磁界J [Oe] とスイッチング磁場 [Oe] との関係、図2を参照して説明する。

【0053】まず、本実施例の磁化自由層は、熱酸化シリコン基板上に、第1及び第2の強磁性層3、7にCo<sub>9</sub>Fe<sub>1</sub>ターゲットを、非磁性結合層5にRuターゲットを用いてスパッタリングによって成膜した。

【0054】また、本実施例の磁化自由層9は、幅が約0.1ミクロン、アスペクト比が約1:4の長方形である。また、第1及び第2の強磁性層の平均厚さは等しく、平均厚さが約2.0ナノメートルである。

【0055】図2に実線で示すように、本実施例では第1及び第2の強磁性層3、7の磁気結合が、-3000 [Oe] 以上1000 [Oe] 以下において、第1及び第2の強磁性層3、7の磁化反転に必要なスイッチング磁場が極端に減少することがわかる。特に、層間結合磁界Jが-3000 [Oe] 以上100 [Oe] 以下が好適である。この様な磁化自由層9を備える磁気抵抗効果素子ではスイッチング磁場の低減が可能となる。

【0056】尚、層間結合磁界J [Oe] が無い状態 (J=0) は、第1及び第2の強磁性層3、7間に層間結合が略存在せず静磁結合のみが存在する。尚、図2中に比較例として従来の強磁性層からなる記録層の結合磁界とスイッチング磁場との関係を破線で示す。この比較

10

例は、強磁性体Co<sub>9</sub>Fe<sub>1</sub>の単層膜であり、厚さ約2.0ナノメートル、幅約0.1ミクロン、アスペクト比約1:4である。

(実施例2) 次に、第1の実施の形態に係る磁化自由層の層間結合磁界J [Oe] とスイッチング磁場 [Oe] との関係を図3に示す。

【0057】この実施例2では、第1及び第2の強磁性層3、7の平均厚さtを夫々1.0ナノメートル、1.5ナノメートル、3.0ナノメートルとかえている。

【0058】第1及び第2の強磁性層3、7、非磁性結合層5に用いる材料及びアスペクト比は実施例1と同様にした。

【0059】図3から、第1及び第2の強磁性層3、7の厚さが約2.0ナノメートル、約3.0ナノメートルの場合に、層間結合磁界Jがゼロ近傍にてスイッチング磁場の最小値があり、約-200 [Oe] まではスイッチング磁場が十分小さいことがわかる。

【0060】また、二つの強磁性層の平均厚さが約1.0ナノメートルの場合には、-100 [Oe] から -300 [Oe] を越えるところまで、保磁力が十分小さな値をもっていることがわかる。従って、スイッチング磁場の低減を図るには、層間結合の大きさJとして -300 [Oe] 以上 100 [Oe] 以下の範囲にあることが好ましい。

【0061】さらに、スイッチング磁場の値は、二つの強磁性層の平均厚さが2.0ナノメートル、3.0ナノメートルの場合より1.0ナノメートルの場合が小さくなっていることから、第1及び第2の強磁性層の平均厚さは薄いことが好ましいことがわかる。

【0062】次に、実施例2の磁化自由層において、第1及び第2の強磁性層3、7が互いに反強磁性結合した場合 (J<0) の、第1及び第2の強磁性層3、7の面内の磁気構造 (磁区パターン) について図4 (a)、

(b) を用いて説明する。

【0063】図4 (a) は第1及び第2の強磁性層3、7の一方の磁気構造を、図4 (b) は他の強磁性層の磁気構造を模式的に示す。

【0064】図4 (a)、(b) からわかるように、第1及び第2の強磁性層3、7の各中央領域の磁化方向は略等しく、これは磁化自由層9の磁気軸と平行である。他方、第1及び第2の強磁性層の端部領域の磁化方向は、中央領域の磁化方向と異なり、非磁性結合層を介した近隣の端部領域の磁化は互いに所定角度 (ゼロ度以上、180度未満) をなしていることがわかる。

【0065】このような磁気構造は、層間結合、静磁結合、磁気異方性の競合の結果生じるものであり、安定した構造を構成している。これによりスイッチング磁場が低減でき、記憶磁化の反転に必要な電流を少なくすることができる。

【0066】尚、図4 (a)、(b) からわかるよう



に、第1及び第2の強磁性層の磁化は、アルファベットの“C”に似た構造となるため、C型磁気構造と呼ぶことができる。尚、C型配置の他に、強磁性層の両端部の磁化が反平行に近い向きを備える場合は、アルファベットの“S”に似た構造となるため、これはS型磁気構造と呼ぶことができる。

【0067】また、素子サイズは限定されるものではなく、幅は1ミクロン程度より小さいものが好ましく、アスペクト比も約1:1.5~10が好ましい。また、強磁性層の平均厚さは10ナノメートル以下、さらには5 10ナノメートル以下がより好ましい。

(実施例3)次に、第1の実施の形態に係る磁化自由層9の他の例として、第1の強磁性層3の平均厚さを約3.0ナノメートルとし、第2の強磁性層7の平均厚さを約2.0ナノメートルとしたときの層間結合磁界Jと保磁力の関係を図5に示す。図5中の各線は、磁化自由層9のアスペクト比を1:2、1:3、1:4とした例を示す。

【0068】尚、この実施例の第1及び第2の強磁性層3、7、及び非磁性結合層5に用いる材料、組成、幅等 20は実施例1と同様とした。

【0069】図5からわかるように、磁化自由層9のアスペクト比が1:2より大きい場合、強磁性的結合( $J > 0$ )において保磁力が最小となる。特にアスペクト比が1:3より大きい場合には、層間結合の大きさが10 0 [Oe] 近辺で急激に保磁力が小さくなることがわか\*

る。

【0070】また、第1及び第2の強磁性層間の結合の大きさは、-500 [Oe] 以上300 [Oe] の範囲にあることが好ましいことがわかる。

【0071】上記のように層間結合磁界Jが約100 [Oe] 程度の第1及び第2の強磁性層3、7の磁気構造は図6の平面図に示すようになる。図6(a)は第1及び第2の強磁性層の一方における面内の磁気構造を示し、図6(b)は他方における面内の磁気構造を示す。

【0072】図6(a)、(b)からわかるように、この場合には、第1及び第2の強磁性層の中央領域の磁化は平行で同じ向きを向いているが、端部領域の磁化の向きは、第1及び第2の強磁性層3、7で同じ向きを向いている。この場合にも、各強磁性層における磁気的構造はC型配置となっているが、上述のS型配置であってもよい。

(実施例4)次に、第1の実施の形態において説明した磁化自由層9中の第1及び第2の強磁性層3、7、非磁性結合層5の層材料、平均厚さ等を中心に説明する。

【0073】表1は、反強磁性層間結合が得られる非磁性結合層5の平均厚さの範囲を示す。いずれの層も示す材料をターゲットとして用いてスパッタ法により成膜した。

【0074】

【表1】

第1及び第2 強磁性層3、5 の材料	Co			CoFe		Fe		NiFe	
第1及び第2 強磁性層3、 5の平均厚さ [nm]	1	1.2	1.8	1.0	0.75	2.0	0.96	1.5	2.0
非磁性結合層 5の材料	Cu	Au	Ru	Cu	Ag	Cr	Au	Au	Ag
反強磁性結合 が得られる非 磁性結合層5 の平均厚さ [nm]	0.5 ~ 1.0	~ 1.0	~ 1.0	~ 1.2		~ 1.5			0.6 ~ 1.9
	1.5 ~ 2.3	1.6 ~ 1.8	1.4 ~ 2.1	1.8 ~ 2.5	1.2 ~ 2.4	2.1 ~ 3.2	1.4 ~ 2.6	1.2 ~ 2.0	2.1 ~ 2.6
	2.7 ~ 3.6	2.6 ~ 3.2	2.7 ~ 3.3	3.0 ~ ~	2.6 ~ 3.6	3.9 ~ ~	3.2 ~ 4.2	2.7 ~ 3.0	
	1.0 ~ 1.5	1.0 ~ 1.6	1.0 ~ 1.4	1.2 ~ 1.8		~ 1.5			1.9 ~ 2.1
	2.3 ~ 2.7	1.8 ~ 2.6	2.1 ~ 2.7	2.5 ~ 3.0	2.4 ~ 2.6	3.2 ~ 3.9	2.6 ~ 3.2	2.0 ~ 2.7	
強磁性結合が 得られる非磁 性結合層5の 平均厚さ[nm]	3.6 ~ ~	3.2 ~ ~		3.3 ~ ~	3.6 ~ ~		4.2 ~ 4.6		

尚、表1では、非磁性結合層5の平均厚さが極端に薄く、例えば0.5ナノメートル以下になれば平均厚さの測定が困難なため空欄とした。また、非磁性結合層5の平均厚さが5ナノメートル以上であれば第1及び第2の強磁性層間の結合が弱くなるため空欄とした。

(実施例5)次に、第1の実施の形態において説明した 50

磁化自由層9の形成方法について説明する。

【0075】まず、第1及び第2の強磁性層3、7の成膜用スパッタターゲットにCo<sub>9</sub>Fe<sub>1</sub>を用いて、またはCo<sub>9</sub>Fe<sub>1</sub>、NiFe、及びCo<sub>9</sub>Fe<sub>1</sub>を順に用いて第1の強磁性層3を形成し、この第1の強磁性層3上にRuターゲットを用いて非磁性結合層5となるRu層を

13

形成し、さらに、第1の強磁性と同じ材料・組成のターゲットを用いて第1の強磁性層3と同じ厚さの第3の強磁性層7をスパッタ法により形成した。

【0076】尚、非磁性結合層5の厚さを変えることで、第1及び第2の強磁性層3、7間に働く層間結合の種類(強磁性的か反強磁性的か)と大きさを制御することができる。

【0077】尚、非磁性結合層の材料にCu、Au、Ag等を用いてもよい。非磁性結合層の平均厚さは、上述の通り、層間結合の大きさが $-3000$  [Oe] 以上  $1000$  [Oe] 以下の範囲に入るように設定することが好ましい。具体的な平均厚さとしては、例えば、 $0.1$  ナノメートルから  $10$  ナノメートルであることが好ましい。

【0078】この磁化自由層9の上に、非磁性スペーサ層11として $Al_2O_3$ 、 $SiO_2$ 等の非磁性誘電体層、あるいはCu、Au、Ag等の非磁性導電体層を形成する。これは、スパッタ法等やCVD (Chemical Vapor Deposition) 法、あるいはその他の周知の方法により成膜できる。さらに、その後、Co、Fe、Niのいずれかを含む強磁性体をターゲットして用いたスパッタ法等により第3の強磁性層13を形成する。

【0079】これらの層が形成された磁気抵抗効果素子を、フォトリソグラフィーまたは電子ビーム描画により微細加工し、その形状を幅約 $0.5$  マイクロメートル、アスペクト比約 $1:4$ とした。

【0080】このように作製した磁気抵抗効果素子の磁化曲線を測定したところ、図7(a)、(b)に示すような結果が得られた。

【0081】図7(a)は、第1及び第2の強磁性層の厚さが夫々 $1.5$  ナノメートルで、弱く反強磁性結合しており、保磁力は約 $5$  [Oe]、スイッチング磁場は $35$  [Oe]であることを示している。この磁性積層膜は、反強磁性的結合を含んでいるにもかかわらず強磁性的な振る舞いを示しており、角型比も1に近い値を示している。これは、前述のように、第1及び第2の強磁性層3、7の磁氣的構造が制御されて図4(a)、(b)に示されたものと同種のものになっているためである。

【0082】また、図7(b)は、二つの強磁性層の平均厚さがそれぞれ約 $1.5$  ナノメートルで、弱く強磁性結合し、保磁力が $26.5$  [Oe]、スイッチング磁場が約 $36.5$  [Oe]であることを示している。層間結合が強磁性的であるので角型比は略1である。

【0083】この場合は強磁性結合を含んでいるにもかかわらず、スイッチング磁場は小さいままである。これは、第1及び第2の強磁性層の磁氣的構造が制御され、図6(a)、(b)に示す磁気構造をもつためである。

【0084】一方、比較例として、二つの強磁性層が強く反強磁性結合している場合の磁化曲線を測定したところ、

14

ろ、本実施例の弱い層間結合がある場合に比べて保磁力は大変大きくなり、また飽和する磁場が $3000$  [Oe] 以上となり角型比が小さくなった。

(実施例6) 第1の実施の形態において説明した磁気抵抗効果素子のスイッチング磁場についてスケーリングした結果を図8に示す。これは、微細加工により強磁性層の幅を $0.2$  ミクロン、 $0.5$  ミクロン、 $0.8$  ミクロン、 $1.2$  ミクロンとして保磁力を測定した結果を幅の逆数に対してプロットしたものである。

【0085】図8は、第1及び第2の強磁性層3、7間に膜厚差がなく、磁性層間に弱い反強磁性結合(約 $-3000$  [Oe])がある磁化自由層( $\nabla$ )、層間結合がなく静磁結合だけがある磁化自由層( $\Delta$ )、弱い強磁性的結合(約 $100$  [Oe])がある磁化自由層( $\circ$ )、第1及び第2の強磁性層間の膜厚差があり、弱く反強磁性結合した磁化自由層( $\square$ )、単層の強磁性層(材料は $Co_9Fe$ 、厚さ $3.0$  ナノメートルからなる)従来の磁化自由層( $\diamond$ )、さらに非磁性結合層によって第1及び第2の強磁性層が強く反強磁性結合した従来の磁化自由層( $+$ )について示す。

【0086】図8から、どの幅においても第1及び第2の磁性層3、7間に弱い反強磁性結合がある場合にスイッチング磁場が最も小さいことがわかる。さらにこの結果を幅 $0.1$  ミクロンに外挿すると、弱い反強磁性結合がある場合に最小のスイッチング磁場である約 $51$  [Oe] が得られることがわかる。

【0087】ここで、MRAMを構成する場合に、ビット線49またはワード線41による磁場の大きさを計算機シミュレーションにより求めた結果を説明する。ビット線49及びワード線41には、断面が長方形で幅 $0.1$  ミクロン、アスペクト比を $1:2$ とし、CuまたはWを材料に用いる。電極の周囲の全部または一部にNiFe合金等の高透磁率材料によりシールド層を配置する。

【0088】この電極に、 $5 \times 10^6 A/cm^2$ の電流を流した場合、電極から約 $50$  ナノメートル離れた位置における磁場の大きさは約 $76$  [Oe] となる。

【0089】従って、幅が $0.1$  ミクロンの場合には、磁性層間に弱い反強磁性結合がある場合、または層間結合がなく静磁結合のみがある場合、磁化反転が可能となることがわかる。

【0090】尚、第1及び第2の強磁性層の間に層間結合がない場合( $J=0$ )には、磁性層からの洩れ磁場による静磁結合による相互作用が存在するが、この場合については、上記の結合がある場合と同様にスイッチング磁場が低減することが知られている(第24回日本応用磁気学会学術講演会12aB-3、12aB-7、第24回日本応用磁気学会学術講演概要集p. 26、27)。

【0091】しかし、磁性層間の層間結合がなく静磁結合のみが存在する場合には、磁気構造が不安定であり、



15

また、ヒステリシス曲線または磁気抵抗曲線における角型比が小さく、大きな磁気抵抗比を得ることが困難となる。

【0092】（第2の実施の形態）次に、本発明の第2の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子について説明する。

【0093】本実施の形態では、第1の実施の形態で説明した層構造において、第1または第2の強磁性層3、7と非磁性結合層5との界面の表面粗さを中心に説明する。

【0094】尚、本実施の形態以降の説明では、第1の実施の形態について説明した構成と同等の構成については符号を同じくし、その詳細な説明は第1の実施の形態を参照することにより、以降、詳細な説明は省略する。

【0095】まず、本実施例の磁気抵抗効果素子の製造方法について説明する。

【0096】スパッタ装置によりSi(100)基板上にCu等からなるバッファ層を形成し、アニールすることにより表面を平坦化する。その上にCo、Fe、Ni、Fe、CoFe等の強磁性層、Cu、Au、Ru等の非磁性金属、Co、Fe、NiFe、CoFe等の強磁性層を順に積層する。この際に、 $10^{-7}$ ~ $10^{-8}$ Torr程度の真空チャンバー内にAr等の不活性ガスを導入する。導入ガス圧は、マグネトロンスパッタ装置で例えば $10^{-3}$ ~ $10^{-2}$ Torrとした。

【0097】この際に、第1及び第2の強磁性層3、7と非磁性結合層5の界面のいずれかの表面粗さを2オンゲストローム以上とするには、例えば次の方法を採用することができる。

【0098】即ち、バッファ層の厚さを例えば約5ナノメートル以上にする。あるいは、バッファ層の材料Cuを例えばTa、Al、Co等に変更する。あるいはバッファ層を用いずにArガス圧をあげる、基板にバイアス電圧をかける等の方法がある。

【0099】上記の界面の表面粗さは、X線反射率法により測定することができる。あるいは、透過型電子顕微鏡により断面を直接見ることで評価することができる。さらに、試料を破壊してオージェ電子分光法、2次イオン質量分析法等も用いて測定することができる。

【0100】ここでは、非破壊で界面の表面粗さを測定できるX線反射率法を述べる。X線反射率法は、低角入射X線の反射プロファイルを解析することにより膜厚や表面粗さを測定する。X線源にはCuターゲットを用い、Ge(111)結晶分光器によりCu-K線を取り出すようにし、X線は全反射するように試料表面すれすれに入射するように設定し、検出器としてNaIのシンチレーションカウンタを使用する。

【0101】いくつかの試料に対し低角でX線を入射したときの反射率の一例を図9に示す。このデータに対し、各層厚と界面の表面粗さをパラメータとして最小二

16

乗法により最適パラメータを決定することができる。

【0102】（第3の実施の形態）次に、本発明の第3の実施の形態に係る2重トンネル接合を用いた磁気抵抗効果素子について、図10の断面図を用いて説明する。

【0103】本実施の形態の磁気抵抗効果素子は、下部電極1上に磁化が略固着された第4の強磁性層19とこの第4の強磁性層19に積層された第2の非磁性誘電体層21を備える。第4の強磁性層19の材料組成や膜厚等は、第3の強磁性層13を参考に適宜決定できる。また、第2の非磁性誘電体層21の材料組成や膜厚等は、第1の非磁性誘電体層11を参考に適宜決定できる。

【0104】本実施の形態の磁気抵抗効果素子は、第1の実施の形態で説明した構造・特性を備える磁化自由層9を用いることでスイッチング磁場の低い良好な磁気2重トンネル接合素子が得られる。

【0105】以上説明した第1乃至第3の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子を、周知の半導体配線技術等と融合することで磁気記憶装置の記憶セルに用いることができる。この磁気記憶装置は不揮発性でランダムアクセス機能を備え、かつ書き換え可能な集積化メモリである。

【0106】また、第1乃至第3の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子は、シールド型構造、ヨーク型構造、フラックスガイド型構造等の周知のヘッド構造に適用することで再生用の磁気抵抗効果ヘッドとできる。また、この磁気抵抗効果ヘッドは、磁気ディスク装置（ハードディスクドライブ）等の磁気再生装置に搭載できる。この様に、本発明の磁気抵抗効果素子を用いた磁気抵抗効果ヘッドや磁気ディスク装置は、信号応答速度が速く、優れた特性を備える。

【0107】（第4の実施の形態）第1乃至第3の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子を用いた磁気記憶装置について、図11のセル断面図を用いて説明する。

【0108】第1乃至第3の実施形態において説明した様に、本発明の磁気抵抗効果素子はスイッチング磁場が十分小さくなっているために、磁気記憶装置の記憶セルとして好適である。各記憶セルは、図11に示すように、この磁気抵抗効果素子47とスイッチングトランジスタを備える。スイッチングトランジスタには、例えば、半導体技術で周知のMISトランジスタ等を用いることができる。

【0109】MISトランジスタは、図11に示すように、第1導電型の単結晶シリコン基板表面に形成された第2導電型の不純物領域からなるソース電極33、ドレイン電極35と、これらの挟まれたチャネル領域上にゲート絶縁膜を介して形成されたポリシリコン等からなるゲート電極37を備える。

【0110】このMISトランジスタのドレイン電極35と磁気抵抗効果素子47は、図11に示すように、コンタクト配線43、45等により接続されている。また、磁気抵抗効果素子47は、コンタクト配線45と接

17

する下面と反対側の上面でビット線 4 9 と接続されている。このビット線 4 9 は紙面左右方向に伸びており、磁気抵抗効果素子 4 7 が形成された位置で紙面垂直方向に伸びる書き込み用ワード線 4 1 と互いに交差している。

【0111】この磁気抵抗効果素子 4 7 の磁化自由層（記憶層）の書き込み動作は、書き込み用ワード線 4 1 とビット線 4 9 に電流を流すことで発生する電流磁界によって実現可能である。つまり、複数の記憶セルが平面にアレイ状に配置された集積化記憶装置では、選択されたワード線とビット線の交差位置にある記憶セルへ選択的に磁気情報の書き込みを行うことができる。

【0112】また、磁気情報の読出しは、MIS トランジスタのチャネル領域を導通状態にして、ビット線 4 9 の端部においてセンス電流値、あるいは電圧値の変動を検知して、磁気抵抗効果素子 4 7 の抵抗変化を測定することにより行うことができる。

【0113】尚、MIS トランジスタのかわりに、ダイオードをスイッチング素子として用いてもよい。即ち、ワード線上にダイオードと磁気抵抗効果素子 4 7、ビット線 4 9 を積層形成することができる。この際に、ワード線とビット線 4 9 は互いに交差し、この交差領域に磁気抵抗効果素子 4 7 を形成することができる。

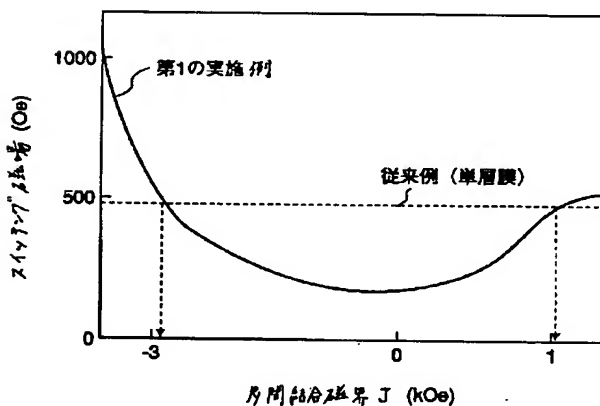
【0114】尚、以上述べた、記憶セルの回路構成や装置構成は一例であり、その他の様々な回路構成や装置構成を採用可能である。

【0115】また、本発明は上述の各実施の形態に関らず、特許請求の範囲に含まれる限りにおいて適宜変更可能である。

【0116】

【発明の効果】本発明によれば、保磁力が小さく、またスイッチング磁場が小さい磁気抵抗効果素子を提供することができる。また、本発明の磁気抵抗効果素子を用いた磁気記憶装置は、高集積化と低消費電力、及び高速化を実現可能である。

【図 2】



18

\*【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の第 1 の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子を示す断面図。

【図 2】 第 1 の実施の形態の実施例 1 に係る磁気抵抗効果素子の特性を示す断面図。

【図 3】 第 1 の実施の形態の実施例 2 に係る磁気抵抗効果素子の特性図。

【図 4】 実施例 2 に係る第 1 及び第 2 の強磁性層の磁気構造を示す平面図。

【図 5】 第 1 の実施の形態の実施例 3 に係る磁気抵抗効果素子の特性図。

【図 6】 実施例 3 に係る第 1 及び第 2 の強磁性層の磁気構造を示す平面図。

【図 7】 第 1 の実施の形態の実施例 5 に係る磁気抵抗効果素子の磁化曲線を示す図。

【図 8】 第 1 の実施の形態の実施例 6 に係る磁気抵抗効果素子の特性図。

【図 9】 本発明の第 2 の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子の X 線反射率の角度依存性を示す図。

【図 10】 本発明の第 3 の実施の形態に係る磁気抵抗効果素子の断面図。

【図 11】 本発明の第 4 の実施の形態に係る磁気記憶装置の記憶セル断面図。

【符号の説明】

1…下部電極

3…第 1 の強磁性層

5…非磁性結合層

7…第 2 の強磁性層

9…磁化自由層

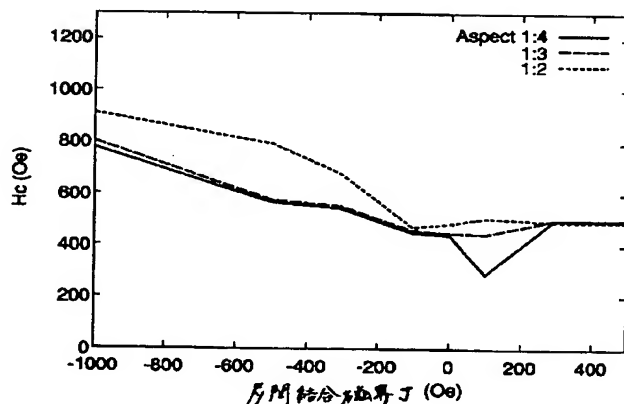
11…第 1 の非磁性誘電体スペーサ層

13…第 3 の強磁性層

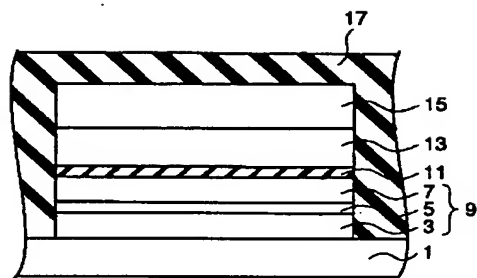
15…上部電極

17…層間絶縁膜

【図 5】

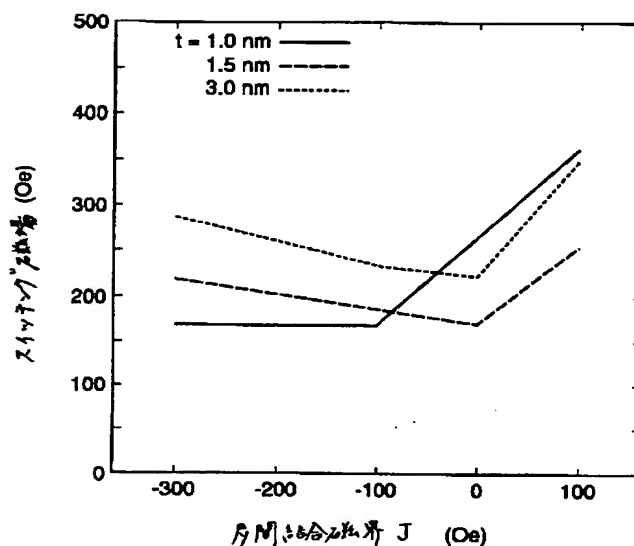


【図1】



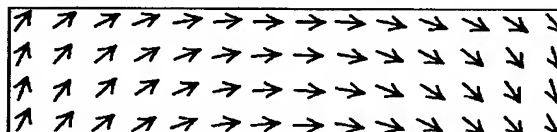
- 1…下部電極  
 3…第1の強磁性層  
 5…非磁性結合層  
 7…第2の強磁性層  
 9…磁化自由層  
 11…第1の非磁性誘電体スペー 層  
 13…第3の強磁性層  
 15…上部電極  
 17…層間絶縁膜

【図3】

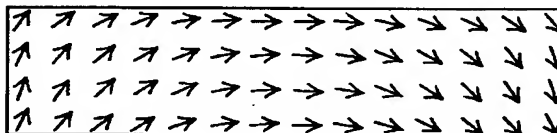


【図6】

(a) 第1及び第2の強磁性層の一方の磁気構造

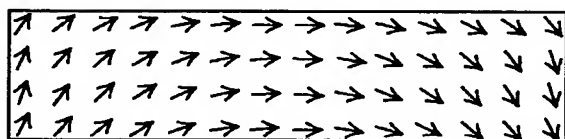


(b) 第1及び第2の強磁性層の他方の磁気構造

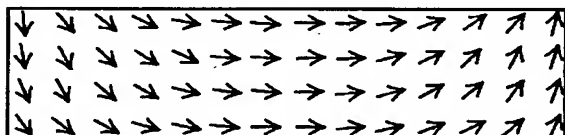


【図4】

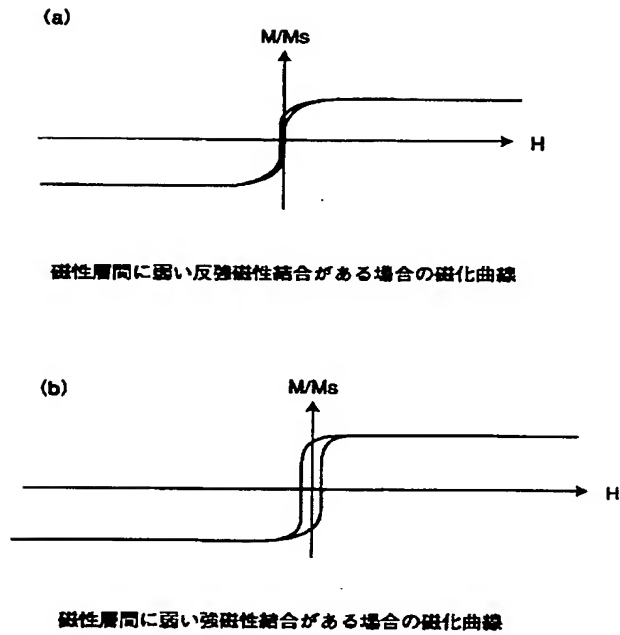
(a) 第1及び第2の強磁性層の一方の磁気構造



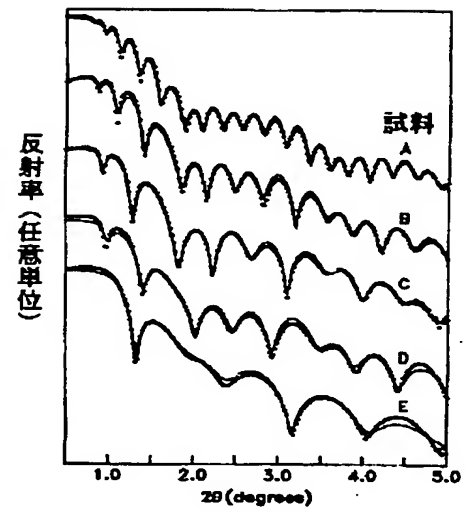
(b) 第1及び第2の強磁性層の他方の磁気構造



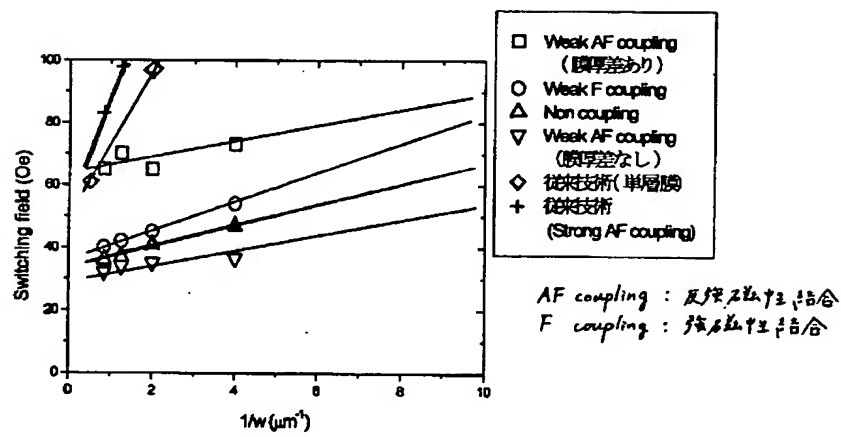
【図7】



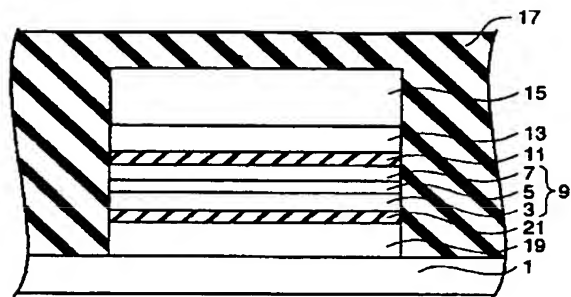
【図9】



【図8】



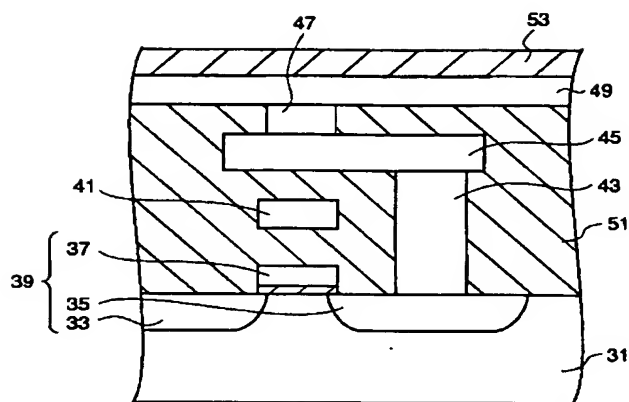
【図10】



19…第4の強磁性層

21…第2の非磁性誘電体スペーサ層

【図11】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7

識別記号

H 0 1 F 10/30

H 0 1 L 27/105

F I

G 0 1 R 33/06

H 0 1 L 27/10

テームコード (参考)

R

4 4 7

(72) 発明者 天野 実

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 砂井 正之

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 中島 健太郎

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 高橋 茂樹

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

Fターム (参考) 2G017 AA10 AD55

5D034 BA03 BA05 CA00 CA08

5E049 AC00 AC05 BA12 CB02

5F083 FZ10